

### 2.3.3 Sistema idrogeologico

#### 2.3.3.1 CAMPO DI MOTO DEL FREATICO IN PIANURA

La conoscenza della geometria del tetto della falda più superficiale ed il suo tipo (libera o confinata) è utile nei processi decisionali associati alle scelte localizzative delle aree insediabili e ad una loro qualificazione di sicurezza e di compatibilità ambientale, perché pone condizioni di fattibilità idrogeologica per:

- realizzazione di vani scantinati o interrati,
- opere d'ingegneria sotterranee,
- edificazione antisismica (valutazione degli effetti sismici locali: liquefazione),
- tutela qualità e quantità delle acque sotterranee.

Il primo passo è quindi quello di eseguire un accurato e rapido (per evitare disturbi dovuti ad eventuali variazioni delle condizioni meteorologiche) rilevamento dei pozzi a largo diametro e di profondità tale da interessare solamente gli acquiferi freatici o comunque la falda più superficiale. Estrapolando tra i punti noti si ottiene una sorta di "fotografia" della geometria del livello piezometrico, che può essere interpretato e confrontato con altre situazioni.

Nel periodo compreso tra il 8/06/2009 ed il 07/09/2009 sono stati rilevati oltre 280 pozzi freatici distribuiti nel fondovalle e nella pianura dell'Associazione Comunale. Sulla base di queste informazioni e di quelle raccolte in precedenti campagne di rilevamento dallo Studio Viel (PRG di Zola Predosa, 1996; PSC di Monteveglio, 2004) si è potuto ricostruire la geometria della tavola d'acqua sotterranea meno profonda. Le sporadiche precipitazioni piovose che si sono verificate durante il rilevamento non hanno influito sui livelli piezometrici misurati.

Per ogni pozzo è stata stimata: la quota del piano campagna in base ai punti quotati della Carta Tecnica Regionale (CTR); la profondità del pozzo; la quota statica dell'acqua s.l.m.; la presenza assenza di pompa e altre informazioni ottenute dalle interviste ai proprietari (uso, frequenza d'utilizzo, tempi di svuotamento e/o di riempimento, ecc.).

L'impiego delle quote statiche rilevate per ricavare le isolinee di eguale pressione (isopieze) da trasporre sulla base topografica non è stato un processo lineare e quindi tanto meno si sono utilizzati strumenti automatici. La carta delle isopieze è il frutto di una elaborazione che ha integrato i dati precedenti, e filtrato le singole informazioni, anche depurando gli errori dovuti a: uso del pozzo poco prima o durante la misurazione; possibili imprecisioni nella valutazione della quota di campagna; diversi periodi di effettuazione del rilevamento.

Bisogna anche rammentare che le informazioni rilevate sono riferite ad un insieme di acquiferi superficiali, più o meno in rapporto reciproco e l'immagine della falda più superficiale, dedotta dal rilevamento dei pozzi, costituisce pertanto sempre un'approssimazione alla realtà: molti acquiferi dotati di caratteristiche geometriche ed idrodinamiche assai diverse e variamente comunicanti tra loro sono spesso rappresentati nei primi 10 – 15 metri di sottosuolo.

La lettura delle isopieze riportate nella tavola AB.QC.B2.03 consente di interpretare anche i rapporti tra falda ed acque superficiali, di individuare la direzione del deflusso sotterraneo, il limite freatico/confinato, le zone di probabile ricarica e di valutare indirettamente alcuni

parametri idrogeologici. Variazioni nella densità delle isopieze indicano passaggi tessiturali, o, se si preferisce, variazioni nella trasmissività dell'acquifero mentre cadenti idrauliche regolari suggeriscono condizioni isotrope; se poi le isolinee sono più rade e regolari ci si può trovare in condizioni di confinamento al tetto. La definizione delle zone in cui la falda superficiale è libera (freatica) o confinata (saliente) non è lineare. In particolare per le falde più superficiali questa ripartizione non può essere definita con una linea perché in realtà il passaggio da una condizione all'altra avviene gradualmente non uniformemente: pertanto la delimitazione riportata nella cartografia deve essere intesa solamente come semplice approssimazione della situazione reale. Per definire correttamente le condizioni freatiche o confinate occorre pertanto conoscere la distribuzione nel sottosuolo delle tessiture. In questo senso, l'unico modo per ricavare correttamente le condizioni locali è quello di eseguire terebrazioni finalizzate a questo scopo.

La tavola AB.QC.B2.03 mostra per la pianura i seguenti principali elementi:

1. la presenza di grandi anomalie nella geometria della falda superficiale: nella porzione orientale del territorio di Zola Predosa (destra Lavino) e nella porzione nord occidentale di Bazzano (sinistra Samoggia) si rilevano pozzi un tempo attivi, oggi completamente secchi. In sinistra Lavino e in destra Samoggia le quote statiche si alzano bruscamente e le isopieze si allineano al corso dei torrenti, cioè nella porzione centrale del territorio di pianura le isolinee conservano una loro regolarità e "logica" riferita al contesto di sottosuolo. La causa delle forti depressioni piezometriche è legata alla presenza di "campi" di captazione delle acque sotterranee per l'approvvigionamento idropotabile sia nell'area metropolitana bolognese che nel modenese (Piumazzo di Castelfranco Emilia) e di numerosissimi pozzi privati per gli usi produttivi di svariate attività industriali, artigianali (Zola Predosa, Casalecchio, Borgo Panigale verso est; Bazzano e la sua frazione Magazzino verso ovest), agricole e zootecniche. Si tratta di anomalie ormai "storiche" e note da almeno 30 anni<sup>48</sup>;
2. attorno a Zola Predosa si riscontra una anomala difficoltà di ricarica sotterranea dai versanti a monte dell'abitato: si tratta con ogni probabilità dell'effetto di emungimento del pozzo a scopi idropotabili, situato all'apice del conoide del Rio Cavanella; questo effetto appare peraltro meno evidente rispetto all'epoca del rilevamento dei pozzi effettuato per le analisi ambientali del precedente PRG (G. Viel, 1996) e non si rileva una zona significativa di "richiamo" verso il pedecollina, come già segnalato.
3. Le due forti anomalie piezometriche falsano anche i rapporti dei due principali corsi d'acqua (Samoggia e Lavino) con la falda superficiale: segnano il divisorio tra le situazioni idrogeologiche fortemente artificializzate descritte sopra, ma non svolgono più l'azione di ricarica della falda come dovrebbero in ampie porzioni delle rispettive conoidi; vi è inoltre un forte richiamo in profondità che risulta certamente maggiore delle possibilità di ravvenamento naturali;

---

<sup>48</sup> Nei documenti di analisi elaborati come base propedeutica al progetto preliminare del PRG di Bologna (1984) si ufficializza una conoscenza già acquisita con lo schema direttore del PUI e con le restituzioni IDROSER del 1982, cioè che le centrali di emungimento producono una notevole "perturbazione" del tetto della falda con abbassamenti maggiori (70 metri sotto il p.c.) in corrispondenza delle zone industriali di Zola Predosa e Casalecchio.

4. il Lavino induce una modesta zona di alimentazione per infiltrazione d'alveo, limitata ad una stretta fascia di territorio limitrofa all'asta fluviale, da Zola Predosa a poco oltre l'autostrada, probabilmente condizionata dall'anomalia piezometrica vista sopra e dalla presenza di abbondante trasporto solido fine che impermeabilizza le ghiaie di fondo dell'alveo;
5. in destra idrografica il Samoggia offre invece un fronte di ravvenamento sotterraneo ancora importante per i suoi depositi di conoide, seppur parzialmente condizionato dall'anomalia idrogeologica già descritta: le maggiori pendenze delle isopise subito a valle della zona industriale di Bazzano sembrano infatti imputabili più al fronte di richiamo d'acqua verso N-NE che ad una brusca caduta della trasmissività (e della permeabilità) dei sedimenti della stessa conoide;
6. la porzione centrale di pianura dell'Area Bazzanese è caratterizzata da alcuni alti piezometrici che si spingono dal pedecollina fino a lambire il confine nord del territorio studiato: si tratta di zone in cui la pressione della falda è più elevata determinando una situazione di deflusso laterale stabile verso le aree caratterizzate da minore valore piezometrico (sedimenti meno permeabili). Il primo è probabilmente impostato nei sedimenti sabbiosi che costituiscono i paleocanali del Ghironda; il secondo alto piezometrico è invece attribuibile alla conoide ed ai canali sepolti abbandonati del Martignone (entrambe queste strutture sono caratterizzate da sedimenti con elevata componente sabbiosa), che più a nord paiono fondersi con i paleoalvei del Samoggia;
7. sempre nella pianura centrale tra Crespellano e Zola Predosa il campo di moto dimostra la presenza di un'ampia zona caratterizzata da bassa piezometria naturale e da una limitata trasmissività degli acquiferi più superficiali; questa situazione è coerente con il contesto paleogeografico dell'area (zona di "interconoide") e dunque riconducibile all'assenza di significativi inviluppi di strutture a tessiture granulari sepolte;
8. il pannello del campo di moto prospiciente il pedecollina più ad occidente dello sbocco vallivo del Martignone è caratterizzato da gradienti idraulici molto più marcati rispetto alla parte orientale. Questa situazione non pare spiegabile come conseguenza di un diverso contesto tessiturale, cioè di una generale minore conducibilità idraulica dei sedimenti attraversati; piuttosto sembrerebbe più correlabile al differente contesto tettonico e strutturale locale: la morfologia della scarpata morfostrutturale sepolta e più elevati tassi di subsidenza recente (olocene) possono avere determinato variazioni significative anche nella geometria degli acquiferi meno profondi e dunque della falda ospitata;
9. la tavola AB.QC.B2.03 riporta un limite seppur molto approssimato tra contesto di falda freatica e confinata; in genere in tutta l'area a nord della ferrovia Bologna-Vignola le trasmissività sono basse e la falda si presenta saliente. Ciò significa che l'infiltrazione dalla superficie nella porzione di pianura a nord della ferrovia è pressoché nulla ed il rapporto della falda con le incisioni dei corsi d'acqua (ad esclusione del Samoggia nella porzione occidentale) è sostanzialmente trascurabile: la ricarica della falda è quindi quasi interamente delegata a ravvenamenti per via sotterranea dalle rocce permeabili del pedecollina (Sabbie Gialle) ed alla fascia delle piccole conoidi dell'alta pianura.

In conclusione la tavola AB.QC.B2.03 indica le aree necessarie di tutele idrogeologiche,

identificate come zone di ricarica della falda superficiale, e degli spartiacque sotterranei. Tutte le aree riportate come zone di depressurizzazione delle falde meno profonde e con attuale soggiacenza della falda elevata, appaiono invece troppo disturbate per poter essere oggetto di tutela attiva mentre dovrebbero essere invece oggetto di politiche di riequilibrio idrogeologico.

#### 2.3.3.2 CAMPO DI MOTO DEL FREATICO NEL FONDOVALLE

Il controllo dei livelli statici nei pozzi freatici a largo diametro ed il rilievo della morfologia ha consentito di studiare anche il sistema idrogeologico dei principali fondovalle, scomponendoli in diverse unità idrogeologiche indipendenti. È noto infatti che le caratteristiche degli acquiferi dipendono anche della vetustà dei depositi granulari e che al limite tra terrazzi più antichi e più recenti spesso si verificano cadute di potenziale del campo di moto della falda. In alcuni casi anche vere e proprie interruzioni nella continuità della falda.

La tavola AB.QC.B2.03 riporta graficamente il lavoro di ricostruzione del tetto del freatico nel contesto vallivo. Si sono assunti come riferimento ed approccio di lavoro le analisi già effettuate dallo Studio Viel per il PRG di Zola Predosa (1996) e per il PSC di Monteveglio (2003-2004): lo studio morfologico, basato sul controllo della Carta Tecnica Regionale e sul rilievo di campagna ha permesso di ricostruire le scarpate tra i principali terrazzi, mentre le unità idrogeologiche distinte corrispondono in sostanza ai terrazzi rilevati. Lo studio idrogeologico predisposto per il PSC di Monteveglio fornisce anche una stima della vulnerabilità degli acquiferi freatici rispetto ai potenziali "centri di pericolo" per potenziale inquinamento (non ripreso per questo lavoro), basato sulla soggiacenza della falda (spessore dell'insaturo), sull'età e sulle condizioni pedogenetiche del terrazzo in cui si insedia il freatico.

Le scarpate rilevate sono, in alcuni casi, visibili sul terreno in termini di variazioni di acclività modeste, presumibilmente causate dalle lavorazioni agricole che hanno obliterato parte della morfologia fluviale. L'individuazione delle scarpate, e soprattutto la loro continuità, è il frutto non solo dell'osservazione morfologica, ma anche dell'esame delle quote freatiche e delle loro variazioni locali.

Le unità idrogeologiche in cui è stato scomposto il fondovalle studiato risultano:

##### TERRAZZI DIRETTAMENTE CONNESSI

Rappresentano buona parte del fondovalle. In questi terrazzi il rapporto tra l'idrologia di superficie e l'idrogeologia del corpo alluvionale è piuttosto stretto, anche se tutti i corsi d'acqua (Samoggia, Lavino, Ghiaie-Ghiara, Ghiaietta) svolgono attualmente un ruolo solo drenante essendo più o meno incassati nelle loro stesse alluvioni e nel substrato roccioso. Questo generalizzato approfondimento degli alvei fluviali (che appare più significativo negli ultimi 30-35 anni) ha determinato l'abbattimento del livello freatico dei terrazzi e la diminuzione delle portate dei pozzi freatici.

Si tratta di depositi allungati in senso longitudinale alla valle, composti spesso da materiale sciolto (da limoso a ghiaioso) e di spessore molto variabile da zona a zona che si riduce ovviamente verso monte. Anche il grado di connessione viene a ridursi con la diminuzione delle dimensioni del materasso alluvionale, per via di una più probabile presenza di soglie o ostacoli sotterranei in genere. Le litologie subiscono graduali variazioni in senso longitudinale e

trasversale alla valle alternandosi invece con rapidità in senso verticale. Gli acquiferi partecipano direttamente all'alimentazione idrica dell'asta principale durante le magre e le morbide torrentizie e, sia pure in misura volumetricamente modesta, ricevono acqua durante le piene. La trasmissività, in genere molto variabile da luogo a luogo, diviene generalmente discreta nelle aree prossime alla pianura, ove si ha lo sviluppo di buoni spessori del materasso alluvionale: nel territorio studiato è più evidente nel fondovalle del Samoggia, a nord della confluenza del Rio Marzadore).

Il rifornimento idrico degli acquiferi qui ospitati avviene attraverso: l'infiltrazione dalla superficie; il contributo dai corsi d'acqua minori (affluenti) che li attraversano; la filtrazione sotterranea dai terrazzi e conoidi intravallive sovrastanti topograficamente.

E' importante sottolineare che durante gli eventi pluviometrici prolungati questi depositi alluvionali svolgono una importantissima funzione regolatrice delle piene, ritardando di ore o giorni l'afflusso all'asta torrentizia di volumi considerevoli d'acqua provenienti dai versanti e dal sottosuolo. I terrazzi connessi diminuiscono infatti l'ammontare delle precipitazioni efficaci (la parte di pioggia che contribuisce alla formazione delle piene fluviali) sia direttamente (infiltrazione dalla superficie), sia indirettamente per immagazzinamento delle acque sotterranee provenienti dai versanti e dai terrazzi sovrastanti.

In conclusione questi depositi alluvionali, seppur in un quadro di complessivo impoverimento idrogeologico e di diminuzione delle quantità d'acqua immagazzinata (per quanto detto sopra), rappresentano ancora un'importante risorsa sia per le riserve idriche che contengono, sia per le funzioni idrauliche (calmierazione delle piene, ammorbidimento delle magre), sia per le funzioni di depurazione delle acque e meccaniche che svolge. Infine è doveroso sottolineare anche l'importanza della qualità dell'acqua, visto che sia il Samoggia sia il Lavino forniscono un importante contributo al rifornimento della falda superficiale della pianura e presentano entrambi ancora una situazione di discreta naturalità.

#### TERRAZZI INDIRETTAMENTE CONNESSI

Si sono definiti "terrazzi indirettamente connessi" le aree terrazzate ove, per svariati motivi, si hanno scarsi rapporti tra il loro regime idrologico ed il corso d'acqua o la falda di fondovalle, oppure si ha una relativa "protezione" superficiale all'infiltrazione. Sono terrazzi spesso occupati da insediamenti importanti (zona industriale e parte dell'abitato di Monteveglio, Castello di Serravalle, ecc.).

La connessione con i corsi d'acqua è dunque indiretta e mediata dalla presenza dei terrazzi connessi. Questi terrazzi alluvionali hanno di norma il maggior contributo di ricarica dal versante collinare (tranne il modesto terrazzo del Lavino presso la località Ca' Motta limitrofa a Zola Predosa) e dalla filtrazione sotterranea mentre l'infiltrazione dalla superficie rappresenta un contributo di solito modesto a causa della presenza di suoli spesso poco permeabili e di discreta pedogenizzazione (anche ricchi di sostanza organica, che tende ad aumentare notevolmente i tempi di infiltrazione in profondità, trattenendo i fluidi in transito verso il basso). Ciò comporta una maggiore difesa dall'inaridimento (rispetto ai terrazzi connessi) ma per precipitazioni di lunga durata o brevi intense il comportamento di superficie è quello caratteristico di terreni completamente saturi: si ha cioè uno scorrimento in superficie e

formazione di ristagni.

La presenza di una coltre impermeabile di superficie (per spessori mediamente superiori al metro) consente di poter sostenere che tutte le "funzioni" idrogeologiche svolte dal materasso alluvionale rispetto al fiume sono conservate anche in caso di uso insediativo dell'area. Ciò avviene perché l'impermeabilizzazione conseguente all'insediamento non influisce in modo determinante sul contributo di piena (che comunque l'area fornirebbe per quanto scritto poco sopra) perché l'incastro delle fondazioni (supposte superficiali a trave rovescia continua) generalmente non interferisce con il volume di acquifero del terrazzo alluvionale.

Infine anche questi terrazzi contribuiscono a diminuire l'ammontare delle precipitazioni efficaci solo indirettamente ed in modalità differenti a seconda delle caratteristiche di permeabilità dei versanti sovrastanti: in modo più cospicuo se il versante ha alta permeabilità, probabilmente modesto se un ampio volume di acquifero del terrazzo è già occupato dalle strutture di fondazione degli insediamenti esistenti.

#### TERRAZZI NON CONNESSI DI FONDOVALLE E PENSILI

Questa categoria comprende le aree terrazzate ora isolate dai corpi alluvionali di fondovalle (sono stati così classificati soltanto i terrazzi del Lavino allo sbocco vallivo in destra idrografica) ma anche le superfici di versante riferibili a sollevamento di antichi lembi di pianura (nella tavola AB.QC.B2.03 sono riportate come <<coperture alluvionali pensili>> di versante). Questi terrazzamenti sono dovuti a fenomeni di modellamento fluviale, deposizionale od erosivo, avvenuti in antichi tempi geomorfologici.

Nei terrazzi pensili i sedimenti presenti sono in linea generale analoghi a quelli precedentemente descritti: in genere sono coperti da suoli molto maturi (con alti livelli di alterazione pedologica) ed anche relativamente profondi che determinano una certa impermeabilizzazione all'infiltrazione dalla superficie; sono lievemente inclinati, si dispongono a diverse altezze sui fianchi della valle. Sono completamente isolati da altri corpi alluvionali mancando oggi connessione laterale con altri corpi alluvionali, e poggiano unicamente su bedrock. Danno luogo a lembi di dimensione piuttosto ridotta ma di grande rilievo panoramico e paesaggistico.

Dal punto di vista idrogeologico il completo isolamento di questi depositi dai corpi alluvionali di fondovalle fa sì che il rapporto con il regime idrologico dell'asta principale sia praticamente nullo. Le risorse idriche sono trascurabili, riferibili unicamente alle acque filtranti il suolo, peraltro solitamente poco permeabile. Ciò comporta che la vulnerabilità dell'acquifero di fondovalle alle attività antropiche di queste aree risulti minore rispetto alle aree precedentemente descritte. Spesso esiste però una connessione con il più complessivo circuito sotterraneo: i terrazzi situati sopra rocce dotate di permeabilità intrinseca (unità IMO, ADO, ecc.) possono svolgere modeste funzioni di serbatoio idrogeologico; così la cartografia AB.QC.B2.03 evidenzia due importanti fronti di ricarica impostati sui terrazzi antichi (AES6) sovrastanti Bazzano (sono censiti, seppur in area urbana, anche numerosi pozzi freatici ancora utilizzati), Zola Predosa (Rio Cavanella, dove a valle sono presenti i pozzi di emungimento idropotabile) e Riale. I lembi terrazzati posti su litologie impermeabili sono invece completamente isolati e rappresentano una modesta risorsa locale.

In conclusione la possibile perdita dell'attuale funzionalità idrogeologica costituisce un motivo di squilibrio solamente a livello locale, pregiudicando la presenza di suoli di buona qualità (anche in termini di pendenza, lavorabilità e "capacità di campo") anche dal punto di vista agricolo.

#### CONOIDI INTRAVALLIVE

La tavola AB.QC.B2.03 riporta le principali conoidi vallive originatesi dalla deposizione di corpi di materiale sciolto, trasportato dai corsi d'acqua minori alla confluenza con l'asse vallivo principale. Questi corpi hanno una estensione laterale limitata e sono generalmente interdigitati con i diversi sistemi di terrazzo.

La granulometria dei clasti e quindi la funzionalità idrogeologica delle conoide sono fortemente condizionate sia dai sedimenti trasportati e cioè dalle litologie affioranti nei bacini imbriferi, sia dai volumi d'acqua disponibili per il trasporto dei clasti. Così le conoidi del Rio Roncadella – sul quale si insedia parte dell'abitato di Savigno – e del Rio Gessi alla confluenza nel Lavino (entrambe formate da tessiture essenzialmente limose ed argillose, quindi scarsamente permeabili) risultano ben diverse da quella che si sviluppa sempre nella valle del Lavino ed in località Dardello. Il conoide del Rio Gessi, ad esempio, è formata da depositi in prevalenza argillosi dato che la parte alta del bacino si sviluppa nei Gessi messiniani (GES) con forte carsismo, dirottando verso la foce considerevoli portate e limitando la possibilità di trasportare le componenti granulari dei sedimenti. Il conoide in località Dardello è invece formato da una maggiore quantità di sedimenti sabbiosi derivanti dalla Formazione delle Sabbie Gialle (IMO) e la trasmissività appare più alta (minor pendenza delle isopieze): risulta pertanto più vulnerabile e comunicante con i terrazzi connessi.

#### 2.3.3.3 ROCCE MAGAZZINO E SORGENTI

I sedimenti attuali recenti, come quelli alluvionali di pianura e fondovalle visti sopra, sono incoerenti e i meati tra i granuli sono occupati da gas e da acqua; le acque sotterranee sono qui presenti come acqua di ritenzione, incapace di muoversi per azione della gravità perché è "imprigionata" attorno ai granuli (in particolare argille e limi), oppure come acqua libera (o gravitativa) cioè libera di muoversi tra i vuoti lasciati liberi dai singoli clasti che compongono il sedimento. La permeabilità di questi ammassi rocciosi si definisce "primaria", proprio perché è legata ad una caratteristica intrinseca degli acquiferi.

I sedimenti antichi, che hanno subito le vicissitudini del seppellimento prima e degli "stress" tettonici dovuti alla formazione della catena appenninica, solo raramente hanno porosità primaria. L'acqua permea le fratture e le diaclasi; spesso deposita il soluto che ha raccolto lungo il suo percorso e chiude gli stessi meati che le permetterebbero di infiltrarsi e scorrere liberamente. La presenza di acquiferi, ossia di magazzini idrici sotterranei delle catene è quindi condizionata dalle caratteristiche della roccia e soprattutto dalla tettonica, cioè dalla quantità e tipologia delle fratture che la tettonica determina negli ammassi rocciosi. Questa permeabilità si definisce "secondaria", perché è legata ad una caratteristica successiva (anche di molti milioni di anni) alla formazione della roccia stessa.

Circa due terzi del territorio Bazzanese è montano e formato essenzialmente da sedimenti antichi: lo studio e la classificazione della permeabilità secondaria delle rocce magazzino divengono pertanto un aspetto idrogeologico rilevante.

Nell'Appennino è ben nota la distribuzione in superficie e nel sottosuolo delle Formazioni geologiche (vedi anche la tavola AB.QC.B2.01): le loro caratteristiche intrinseche possono quindi essere previste ed estrapolate a grandi volumi di roccia. La conoscenza dell'andamento e soprattutto dell'intensità della fatturazione e delle discontinuità richiedono però studi particolari per essere conosciuti e l'estrapolabilità di queste informazioni rimane molto modesta, fornendo risultati scarsamente coincidenti con la realtà. Impossibile quindi comporre una cartografia della vulnerabilità idrogeologica senza avere gli esiti di un approfondito studio idrogeologico. In questo senso la Regione Emilia-Romagna ha pubblicato un primo archivio delle rocce magazzino dell'Appennino regionale (M.T. De Nardo, G. Viel e M. Montaguti, 2002) in cui sono riportate le sorgenti più importanti.

Nel 2004 M.T. De Nardo e P. Scarpulla del Servizio Geologico regionale hanno pubblicato un ulteriore studio su progetto europeo LIFE <<aqualabel>> riferito specificamente al bacino montano del Fiume Reno<sup>49</sup>. A questo ultimo studio ed ai dati forniti dal Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli si fa riferimento per le fonti del materiale conoscitivo (numero e localizzazione delle sorgenti e delle fonti, delimitazione delle rocce magazzino) e per buona parte delle considerazioni relative ai serbatoi sotterranei ed alla loro interpretazione.

Rispetto al citato progetto <<aqualabel>> alcune rocce magazzino sono state eliminate dalla cartografia (tavola AB.QC.B2.03), in particolare quelle relazionate ai corpi franosi disposte nelle aree caratterizzate da unità geologiche argillose e/o a tessitura fine e prive di sorgenti perenni o significative, perché stimate poco importanti ai fini delle riserve idriche contenute e quindi poco rilevanti per la definizione della tutela idrogeologica. Così per le Sabbie Gialle (formazione geologica più recente del pedecollina, ancora scarsamente litificata) si è perimetrata come rocce magazzino soltanto la sua sotto unità più arenitica e ghiaiosa (membro IMO<sub>1</sub>), dotata di una porosità efficace ancora considerevole. Questa roccia magazzino è strettamente correlata in profondità con le falde dell'alta pianura di cui rappresenta una delle principali fonti di ricarica.

Nel territorio montano dell'Area Bazzanese sono rappresentate soprattutto unità geologiche a bassa conducibilità e l'eventuale presenza di sorgenti o di percorsi idraulici endoreici è strettamente correlata alle superfici di stratificazione tettonica ed alla fratturazione dell'ammasso roccioso (che però ne pervade solamente porzioni dello stesso): sono state dunque considerate rocce magazzino le unità ADO (ed il membro ADO<sub>2</sub>), TER, MVT, CTG, PAT, LOI e CIG (§2.1.2.4); queste formazioni geologiche sono costituite principalmente da litotipi arenacei massivi o fratturati e da litotipi costituiti da alternanze di areniti/peliti in rapporto variabile e tettonizzate.

Una situazione geologica importante è la presenza dei gessi messiniani (formazione GES) localizzati solamente nel territorio di Zola Predosa; costituiscono infatti una importante emergenza idrogeologica e sono sede di uno dei maggiori fenomeni carsici della nostra regione: la dolina con inghiottitoio della grotta "Gortani", il cui circuito endoreico è solo parzialmente conosciuto. Per questa unità si è già riconosciuto il contributo idrogeologico che perviene alle falde profonde dell'alta pianura del bolognese e che può dunque essere estrapolabile anche per la pianura di Zola Predosa. Le acque che hanno attraversato queste rocce sono caratterizzate da una forte durezza (per concentrazione eccessiva di solfati) e non

---

1 Lo studio è stato pubblicato sulla rivista "Il Geologo dell'Emilia-Romagna", n.19/2004)

sono utilizzabili per scopi potabili, alimentari o industriali: forse proprio per questo motivo non risultano censite sorgenti importanti. Questa unità non è stata dunque compresa nelle rocce magazzino ma per le peculiarità sopra citate viene comunque perimetrata nella cartografia (tavola AB.QC.B2.03) come ambito di tutela naturalistica.

Infine anche le coperture recenti più detritiche (depositi di versante, eolici, corpi di frana) e le coltri alluvionali pensili possono fornire un contributo al circuito sotterraneo, in particolar modo se si sovrappongono oppure risultano al contorno di bedrock caratterizzati da permeabilità intrinseca: possono dunque svolgere modeste funzioni di filtrazione e di serbatoio idrogeologico come già scritto anche nel precedente paragrafo, ed essere anche sede di sorgenti di una certa rilevanza.

## 2.4. PERICOLOSITÀ SISMICA PRELIMINARE

### 2.4.1 *Scenari ed effetti locali potenziali*

La pericolosità riferita ai terremoti è il prodotto inscindibile delle sue due componenti: la sismicità di base<sup>50</sup> e la pericolosità sismica locale. La scala di studio della pericolosità di base deve essere quella regionale e deve giungere alla definizione del terremoto di riferimento per gli studi di microzonazione sismica, mentre la seconda dipende dalle condizioni geologiche e geomorfologiche di una zona che possono produrre effetti diversi e deve pertanto essere analizzata alla scala locale. L'individuazione delle zone caratterizzate da comportamento sismico omogeneo è dunque un tassello conoscitivo fondamentale per giungere alla "microzonazione sismica" del territorio.

Per il PSC associato dell'Area Bazzanese si è giunti alla elaborazione di una zonazione sismica preliminare del territorio, come richiesto dalla delibera regionale 112/2007 per questa fase di pianificazione (§ b2.2.1.2). Il lavoro ha individuato i principali "scenari" di pericolosità locale ed i conseguenti "effetti" potenzialmente attesi; entrambi sono stati evidenziati cartograficamente nella tavola AB.QC.B2.04 in scala 1: 25.000. Si tratta di una prima analisi solamente qualitativa basata sul controllo dei dati pregressi (strutturali, litologici, geomorfologici ed idrogeologici) per individuare le zone che possono produrre instabilità e/o amplificazione senza tuttavia definirne i relativi parametri numerici.

Gli effetti potenziali locali in caso di impulsi ciclici sono stati così distinti:

- 1) effetti di amplificazione (litologica e morfologica) → sono la conseguenza della interazione delle onde sismiche con le caratteristiche litologiche e meccaniche eterogenee dei sedimenti attraversati e con le differenti caratteristiche morfologiche superficiali o sepolte<sup>51</sup>. Si possono così avere modificazioni in forma ed ampiezza dell'impulso dovute a fenomeni di riflessione, rifrazione ed anche alla trasformazione delle onde di volume in onde

---

<sup>50</sup> Intesa come la probabilità che si verifichi un evento sismico di intensità superiore ad una soglia stabilita in un determinato intervallo di tempo ("terremoto di riferimento"). È funzione del contesto geologico-strutturale a scala regionale

<sup>51</sup> Quando la distanza tra sorgente sismica e sito è riconducibile a condizioni di "far-field" (distanze superiori alla lunghezza di rottura della faglia) gli effetti di sito risultano gli unici responsabili delle modificazioni delle onde sismiche, mentre se la sorgente sismica è vicina al sito (condizioni "near-field") risulta non trascurabile anche il contributo delle attenuazioni anelastiche dell'impulso sismico dovute alla distanza di propagazione

superficiali orizzontali<sup>52</sup>;

- 2) effetti di instabilità dovuta a fenomeni “cosismici” → sono generalmente causati dal decadimento o superamento delle resistenze meccaniche dei sedimenti coinvolti in caso di impulso ciclico (sisma); in particolare, in condizioni “non drenate” delle coperture sedimentarie attraversate dall’onda sismica, si può avere rottura del terreno per la rapida perdita della resistenza di taglio a seguito dell’annullamento delle pressioni effettive (liquefazione ciclica). Le diverse condizioni litostratigrafiche e morfologiche, la presenza o meno di falda, inducono differenti meccanismi di instabilità: nel caso di versanti si può avere l’innescò o la riattivazione di frane; nel caso di presenza di strutture tettoniche dislocabili (faglie) affioranti si possono verificare scorrimenti e/o cedimenti superficiali; nel caso di sedimenti con caratteristiche meccaniche scadenti si possono avere rotture e/o deformazioni; per terreni granulari insaturi (sopra falda) sono possibili cedimenti per densificazione mentre per sedimenti granulari fini (sabbie) saturi sono invece possibili fenomeni di liquefazione. Infine, nel caso di siti caratterizzati da litologie affioranti interessate da carsismo (nel territorio studiato è possibile soltanto nella Formazione Gessoso Solfifera – GES) si possono verificare effetti di subsidenza locale e di crolli di cavità sotterranee.

La legenda della tavola AB.QC.B2.04 è dunque strutturata per individuare tutti i possibili scenari di pericolosità che possono interessare localmente il territorio studiato e consentire una rapida valutazione dei possibili effetti in caso di sisma.

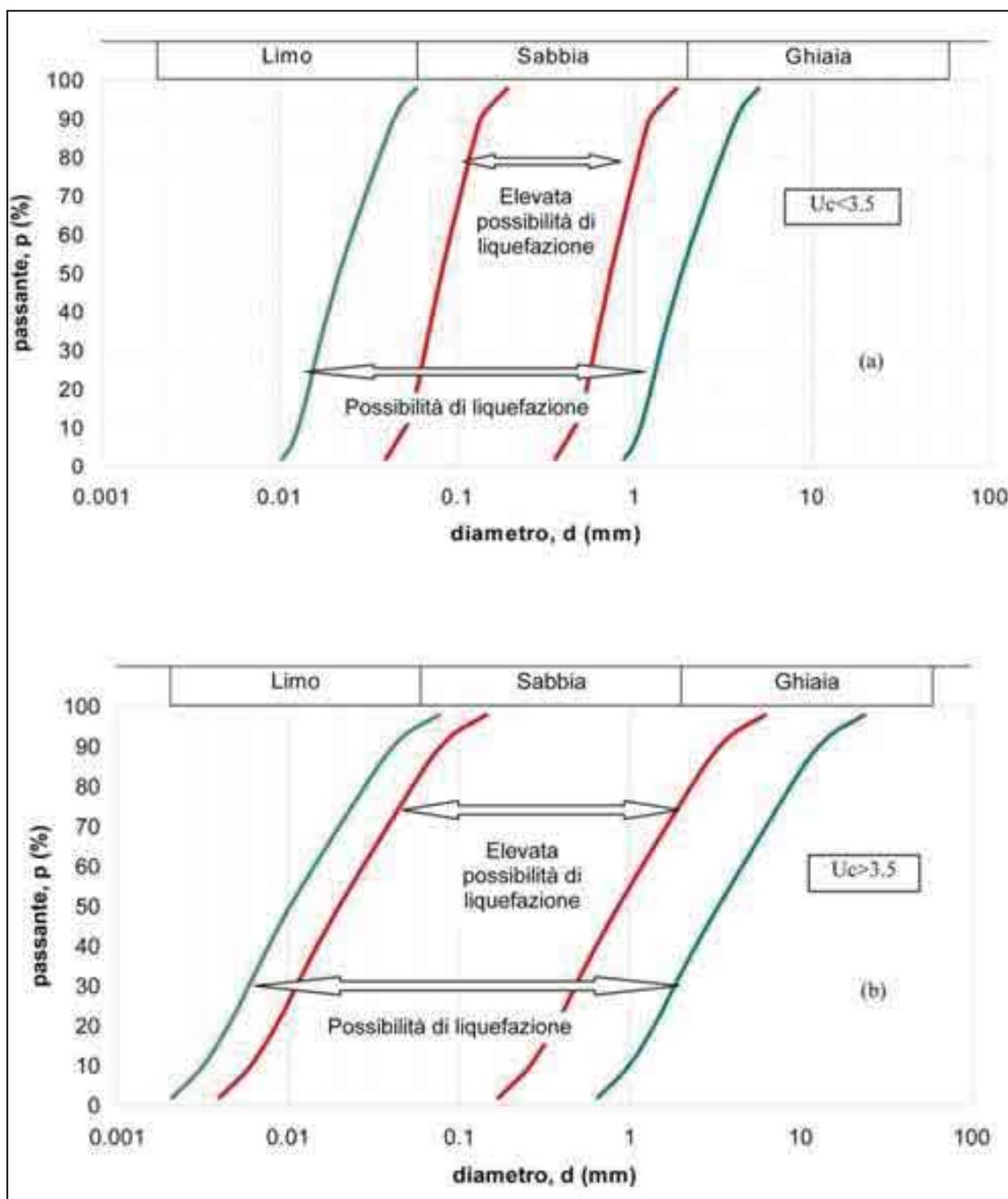
Per ogni scenario sono stati indicati tutti gli effetti attesi; ad esempio, per aree di frana: sono possibili fenomeni di instabilità di versante (riattivazione del movimento), cedimenti e amplificazione (nel caso di dissesti di grandi dimensioni – con spessori del corpo di frana superiori a 5 metri). Si tratta naturalmente di effetti potenziali la cui entità è funzione, come già detto, non solo delle caratteristiche del sisma (durata, frequenza, intensità) ma anche dei molteplici fattori locali di natura geologica, idrogeologica, geomorfologica ed anche geotecnica.

Per delimitare le zone di possibile amplificazione morfologica si è utilizzato anche un modello digitale del terreno (DTM), sulla base di un “grid” di punti quotati e georeferenziati forniti dal Servizio Cartografico R.E.R., elaborato con maglia quadrata di 5x5 metri; il DTM ha permesso la scomposizione della superficie topografica in tre classi di acclività (< 15°, tra 15° e 30°, > 30°) in ossequio a quanto indicato nella delibera regionale 112/2007 (allegato A1) ma anche nelle vigenti Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC 2008).

Le perimetrazioni delle frane riportate nella tavola AB.QC.B2.04 comprendono anche un “buffer” esterno alle stesse di 30 metri, che rappresenta una fascia imposta a cautela di possibili evoluzioni (in caso di sisma) del dissesto che attualmente può essere anche inattivo. È infatti assai frequente che i sismi possano indurre riattivazioni o incrementi delle velocità di scorrimento nei movimenti gravitativi e modificarne l’evoluzione in termini di distribuzione (retrogressioni delle corone di frana, allargamenti, ecc.) coinvolgendo volumi maggiori di roccia.

---

<sup>52</sup> questo effetto può essere particolarmente significativo nel caso di incidenza delle onde sismiche in corrispondenza dell’interfaccia non orizzontale tra “bedrock” e coperture recenti (alluvioni), quindi al bordo delle valli e della pianura contigua al pedecollina



#### 2.4.2 Pericolosità di liquefazione

La suscettibilità alla liquefazione dei sedimenti rappresenta un parametro molto importante da valutare nelle analisi di pericolosità sismica anche a piccola scala, in particolare nella pianura alluvionale dove si ha la maggiore concentrazione dell'urbanizzato sia storico che di previsione.

Per liquefazione si intende l'annullamento di resistenza al taglio di terreni granulari saturi sotto sollecitazioni di taglio cicliche ed in conseguenza delle quali il sedimento raggiunge una condizione di fluidità pari a quella di un liquido viscoso. Il meccanismo di liquefazione è

governato da molti fattori e tra questi i principali sono: caratteristiche dell'impulso sismico; (magnitudo  $M > 5,0$ ); densità relativa ( $DR < 50 \div 60\%$ ); pressioni di confinamento (non sono riportati casi in letteratura di liquefazione in strati granulari profondi oltre 15-20 metri); fuso granulometrico (vedi figura 2.26); falda superficiale.

*Fig. 2.26 fusi granulometrici per la valutazione preliminare della suscettibilità alla liquefazione per terreni a granulometria uniforme (a) oppure estesa (b), tratto dalle <<Linee guida AGI>>, 2005*

Molti Autori hanno evidenziato una correlazione positiva tra età e tipo di deposito alluvionale continentale riguardo la propensione alla liquefazione:

- 1) Youd e Perkins, 1978 – hanno composto una tabella che sintetizza i dati raccolti durante terremoti “strong motion” dell’area di S. Diego (California), da cui risulta che i sedimenti deposti da corsi d’acqua (piana alluvionale di esondazione, canale fluviale, delta fluviali, estuari) dimostrano una probabilità di liquefazione da alta a molto alta se di età minore di 500 anni o Olocenica, gli stessi depositi se di età pleistocenica o pre-pleistocenica hanno invece una “bassa” probabilità di liquefarsi. Cioè l’osservazione dimostra che sono solamente i sedimenti di deposizione recente (olocene) e recentissima (meno di 500 anni) a presentare un’alta pericolosità per la liquefazione;
- 2) Mori et Al, 1978 – dimostrano che la suscettibilità alla liquefazione decresce nei sedimenti di età maggiore di 500 anni, con scarti anche molto alti (maggiori del 50%). Tolno, 1975 dimostra l’incremento di densità secca (stato di addensamento) del sedimento in relazione all’aumento di vetustà (dall’Olocene al terziario);
- 3) Iwasaki et Al, 1982 – dimostra per terremoti giapponesi la correlazione diretta tra probabilità di liquefazione e letti di fiumi recenti e antichi;
- 4) CNR, 1983 – ripropone la correlazione diretta tra sedimenti fluviali e deltizi continentali ed età del deposito (i più recenti sono più suscettibili alla liquefazione).

La letteratura geologica, ormai ben consolidata e verificata, indica dunque che le maggiori probabilità di liquefazione si hanno nei sedimenti granulari saturi recenti e recentissimi. Ciò presuppone che gli alvei abbandonati e sepolti dei principali corsi d’acqua presenti nel territorio studiato (Torrenti Samoggia e Lavino) ma anche i paleoalvei minori (Ghironda, Martignone, ecc.) possono costituire fonte di pericolo di liquefazione anche per sismi di magnitudo modesta come quelli previsti per il territorio bazzanese (§ 2.2.1.1). Tanto più che esiste letteratura scientifica relativa ad effetti storici di liquefazione avvenuti nella pianura emiliana e romagnola in seguito a terremoti, anche nell’area di studio: per il terremoto bolognese del 3 gennaio 1505 di magnitudo stimata 5,5 (fonte: CPTI, 2004) sono documentati danni più consistenti a Zola Predosa, Bologna e S. Lorenzo in Collina con effetti anche di liquefazione a Zola Predosa (Prestininzi e Romeo<sup>53</sup>, 2000).

La liquefazione di sedimenti saturi non sempre produce perdita di funzionalità o collasso delle strutture degli edifici. Riduzioni rilevanti di capacità portante e cedimenti significativi sono

---

53 Effetti di liquefazione a Zola Predosa vengono evidenziati anche nel <<Nuovo catalogo nazionale dei processi di liquefazione avvenuti in occasione dei terremoti storici in Italia>> (Galli e Meloni, 1993)

funzione:

- dell'ampiezza e tempo del carico ciclico del sisma;
- dello spessore ed estensione dello strato in liquefazione;
- dello spessore dei sedimenti non soggetti a liquefazione interposti tra fondazioni e strato in densificazione/liquefazione;
- delle condizioni morfologiche al contorno (acclività; presenza di scarpate o di variazioni di pendenza; vuoti di cava; incisioni fluviali; maceri). Nella montagna non dovrebbero ricorrere condizioni di saturazione dei sedimenti, se non nei fondovalle; qui però le tessiture teoriche sono tali da non determinare pericoli di questo tipo, almeno non individuabili alla scala di questo lavoro);

Si premette che le modalità di stima della pericolosità di liquefazione/densificazione del sedimento adottate nel presente lavoro sono soltanto di tipo qualitativo, perchè una analisi "quantitativa" richiede la verifica dei parametri tessiturali e meccanici delle sabbie sature ottenuti esclusivamente da prove "in situ" e in laboratorio: costose e pertanto non proponibili per questa fase di pianificazione a grande scala. In prospettiva, nelle aree di nuova espansione, e più in generale per una definizione accurata della distribuzione territoriale del "potenziale di liquefazione" sarà dunque indispensabile procedere con indagini puntuali.

L'analisi preliminare della pericolosità di liquefazione effettuata per il PSC associato si basa sull'elaborazione di una semplice matrice ponderale che permette di incrociare alcuni dei principali fattori condizionanti questo fenomeno reologico: le tessiture medie del sottosuolo e la piezometria locale. La propensione alla liquefazione del sottosuolo dipende decisamente dalla variazione e distribuzione areale di questi fattori: la quota di falda, la presenza o meno di sedimenti granulari e la loro profondità di confinamento relativi alla pianura studiata sono stati tradotti in "layer", elaborati con l'aiuto del software GIS <<Arcview>>.

La distribuzione tessiturale dei sedimenti nel sottosuolo presuppone un'analisi paleogeografica della pianura studiata ossia la ricostruzione dell'insieme dei paleovalvei; per questa fase di studio si sono considerati:

- i dati tessiturali della Carta Geologica di Pianura dell'Emilia-Romagna che condensa il contesto sedimentario più recente relativo ai primi 6 metri circa di sottosuolo;
- le informazioni geognostiche disponibili ricavate da penetrometrie e sondaggi (Banca Dati della R.E.R.; indagini geognostiche d'archivio forniteci dalla Comunità Montana e dai Comuni; dati dello Studio scrivente). In particolare attraverso gli esiti delle terebrazioni si è controllata la presenza fino a 15 metri di profondità di strati granulari sabbiosi potenti almeno un metro; le prove con intervalli granulari di spessore invece inferiore ad un metro non sono state considerate.

Il controllo delle prove geognostiche ha consentito alcune modifiche locali alla cartografia regionale e la delimitazione di ampie zone che corrispondono ad involuppi di paleovalvei sepolti (figure 2.27 e 2.28).

Il contesto idrogeologico è invece basato sulla ricostruzione della geometria della tavola d'acqua sotterranea riprodotta nella tavola AB.QC.B2.03 (si rimanda al paragrafo b2.3.3.1 per

gli approfondimenti sulle acque sotterranee). Il territorio di pianura è stato scomposto in tre zone, caratterizzate da una soggiacenza<sup>54</sup> minima rispettivamente inferiore a 6 metri, tra 6 e 15 metri, e infine maggiore di 15 metri.

Il sottosuolo potenzialmente liquefacibile (fino a 15 metri) è suddiviso nei seguenti due intervalli di profondità:

- 1) dal piano campagna fino a -6 metri → corrisponde all'intervallo dove statisticamente si ha la più alta probabilità di liquefazione/addensamento dei sedimenti granulari saturi. È noto infatti che la propensione alla liquefazione decresce rapidamente con il grado di confinamento dello strato sabbioso e con la profondità della falda; generalmente si concentra soprattutto a profondità comprese tra 1,5 e 4 metri (Obermeier, 1996). La liquefazione dei sedimenti compresi in questo primo strato può comportare maggiori risentimenti alle strutture (cedimenti) dovuti alla propagazione in superficie degli effetti;
- 2) da -6 a -15 metri → come già scritto il maggiore confinamento degli strati granulari saturi e la più elevata soggiacenza della falda limitano la possibilità di liquefazione ed attenuano la propagazione degli effetti in superficie; per la maggior parte dei manufatti, in genere sostenuti da fondazioni superficiali (travi rovesce), ciò si traduce in una maggiore garanzia di sicurezza, mentre per le altre fondazioni le condizioni sono da considerarsi caso per caso.

---

54 Profondità della tavola d'acqua rispetto al piano piano campagna

Fig. 2.27

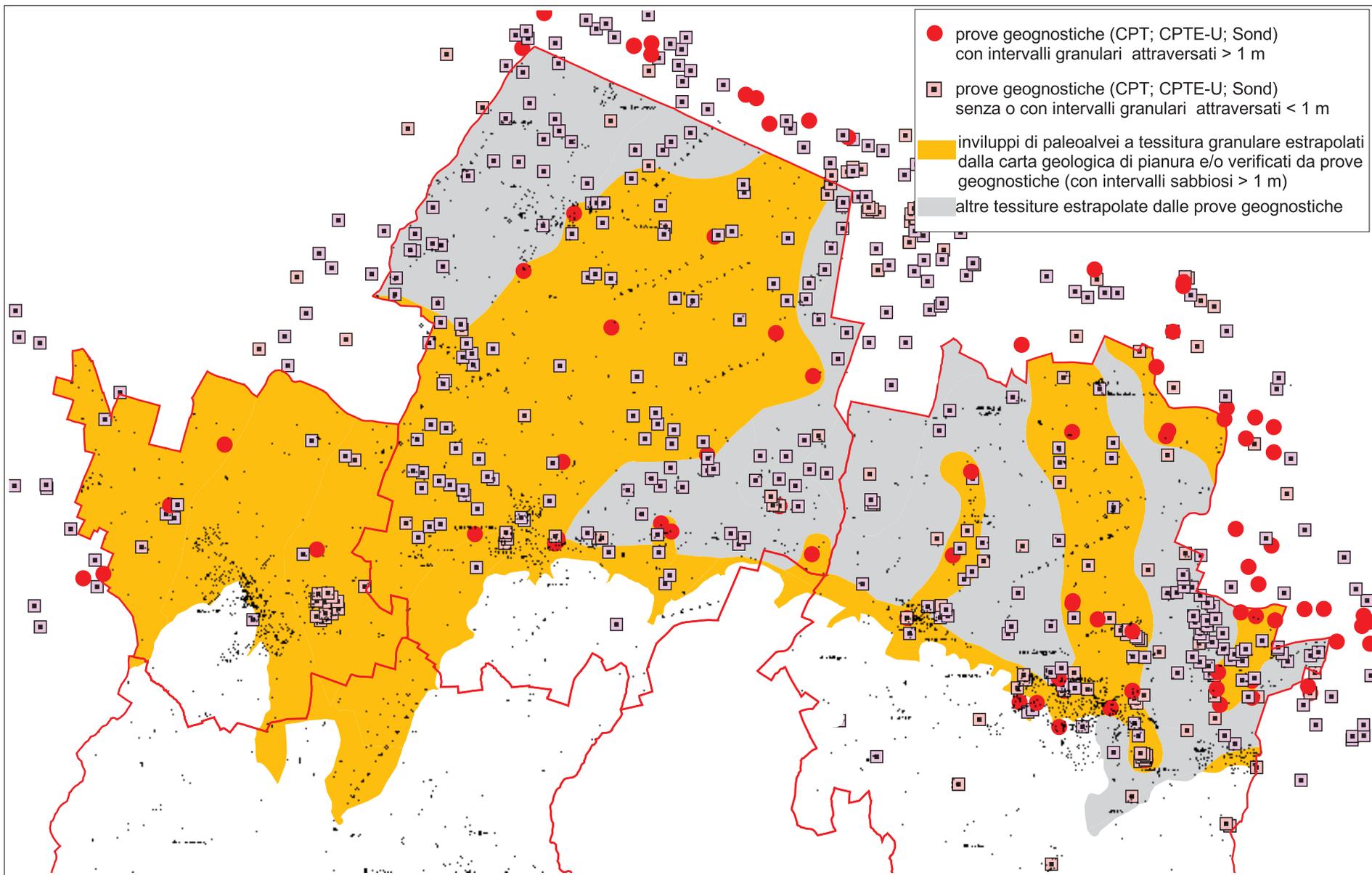
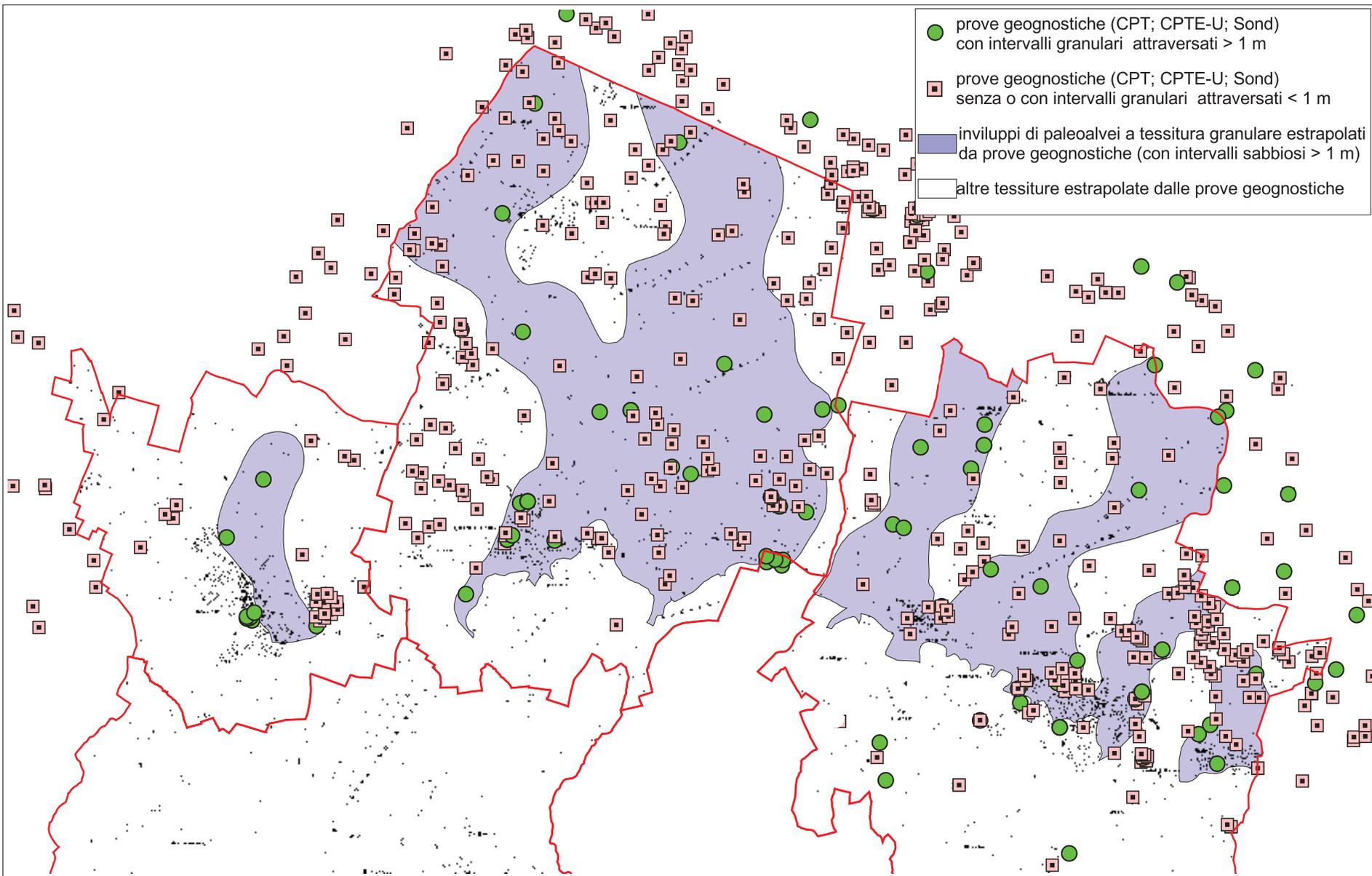


Fig. 2.28



La tavola AB.QC.B2.04 evidenzia dunque gli “scenari” tessiturali della pianura (e degli sbocchi vallivi) che, in caso di sisma, potrebbero produrre effetti di liquefazione; la carta riporta infine la zonizzazione preliminare della “pericolosità” di liquefazione basata sugli esiti ottenuti dalla matrice ponderale sopra descritta. Lo schema ponderale utilizzato per la valutazione della suscettibilità alla liquefazione è riportato nella seguente tabella 2.4.

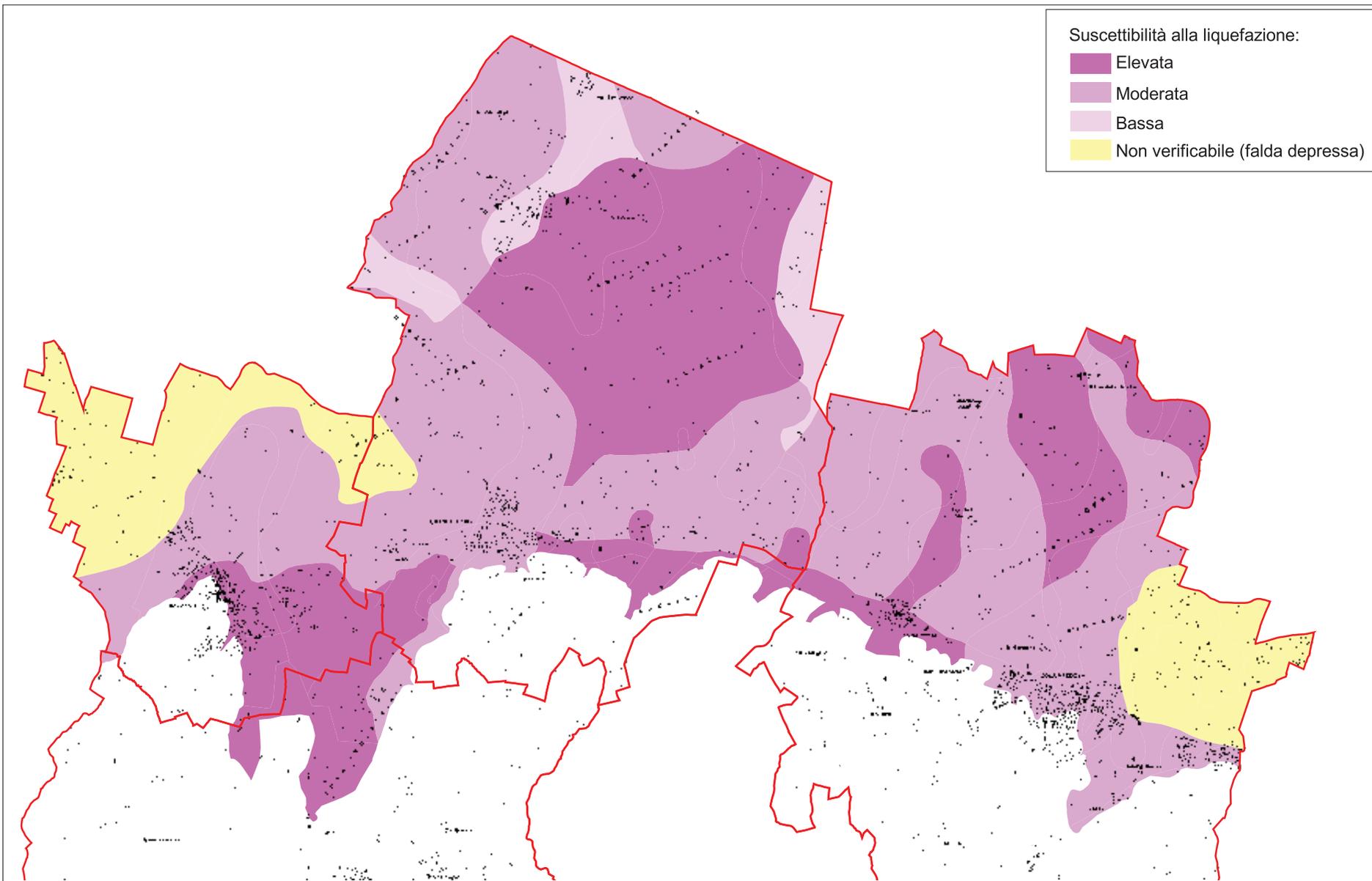
**Tab. 2.4 Schema ponderale per la valutazione della suscettibilità alla liquefazione**

FATTORE	PROFONDITÀ		
	<6m	6÷15m	>15m
1) Soggiacenza minima	E	M	--
2) Tessiture Carta geologica di Pianura (0-6m):			
Depositi di conoide e di terrazzo (ghiaie e sabbie..)	E	--	--
Depositi di conoide e di terrazzo (sabbie, limi sabbiosi e limi..)	E	--	--
Depositi indifferenziati (ghiaie,sabbie, limi..)	E	--	--
Dep. di canale e di argine prossimale (sabbie medie e fini..)	E	--	--
Dep. di argine distale (limi sabbiosi, sabbie fini e finissime..)	E	--	--
Dep. di canale e argine indifferenziati (sabbie medie e fini limi, argille...)	E	--	--
Dep. di conoide e di terrazzo (limi e limi argillosi, subordinate ghiaie e ghiaie sabbiose canalizzate..)	M	--	--
Dep. di canale e argine indifferenziati (limi argillosi e sabbiosi, subordinate sabbie fini e finissime..)	M	--	--
Area interfluviale e dep. di palude (argille e limi..)	B	--	--
3) Tessiture controllate: dati geognostici con intervalli granulari > 1m (0-15m):			
Intervalli sabbiosi accertati (potenza > 1 metro)	E	M	--
Intervalli sabbiosi non accertati ma possibili (potenza > 1 metro)	B	B	--

In conclusione si è giunti ad una scomposizione della pianura dell'Area Bazzanese secondo quattro categorie di propensione alla liquefazione:

- elevata → comprende zone con sottosuolo caratterizzato da involuppi di paleoalvei o da depositi di conoide a tessitura granulare superficiali (< 6 metri), saturi e con strati sabbiosi di potenza > 1 metro verificati anche da prove geognostiche;
- media → il contesto paleogeografico generale in cui ricade la zona presuppone la possibilità di intervalli granulari saturi nei primi 6 metri; gli strati sabbiosi di potenza

fig. 2.29 Zonizzazione preliminare della propensione alla liquefazione



- maggiore di 1 metro sono verificati solo a profondità  $>$  di 6 metri; oppure la soggiacenza minima della falda è  $>$  6 metri;
- bassa  $\rightarrow$  il contesto paleogeografico generale in cui ricade la zona presuppone che il sottosuolo sia caratterizzato da sedimenti prevalentemente pelitici; anche le prove geognostiche non hanno verificato la presenza di strati sabbiosi di spessore maggiore di un metro almeno fino a 15 metri;
  - non verificabile  $\rightarrow$  l'elevata soggiacenza della falda ( $>$  15 metri) esclude la possibilità di liquefazione; si tratta di una condizione probabilmente reversibile solo nel caso in cui si esauriscano gli emungimenti d'acqua dai pozzi che attualmente causano la forte anomalia piezometria rilevata nella carta AB.QC.B2.04.

La figura 2.29 riassume la zonizzazione sopra descritta. In sintesi le zone ad elevata suscettibilità si concentrano:

- o allo sbocco vallivo del Samoggia tra Monteveglio e Bazzano  $\rightarrow$  viene ad includere una buona parte dell'insediato di Bazzano; comprende i depositi recenti di conoide prossimale del Samoggia la cui componente ghiaiosa, se quantificata, potrà comunque e localmente escluderne la liquefazione;
- o negli sbocchi vallivi minori del Martignone, del Podice e del Ghironda  $\rightarrow$  questi corsi d'acqua sono caratterizzati da bacini idrografici impostati nelle formazioni arenacee delle Sabbie Gialle (IMO) e di M. Adone (ADO) ed hanno prodotto conoidi a tessiture abbondantemente sabbiose; su questi depositi si insediano le frazioni di Pragatto, Chiesa Nuova e Ponte Ronca;
- o nella pianura di Crespellano (per la presenza di involuppi di paleoalvei sabbiosi recenti del Samoggia, in falda) e nella pianura di Zola Predosa (paleoalvei recenti del Lavino ma anche del Ghironda);

Si evidenzia ancora una volta che per ampie porzioni di pianura (zona produttiva di Zola Predosa; territorio a nord di Bazzano) la possibilità di liquefazione dei sedimenti, a prescindere dalle tessiture che caratterizzano il sottosuolo, è fortemente condizionata dalle anomalie piezometriche (forti abbassamenti delle falde meno profonde) indotte dall'attuale ed elevato prelievo d'acqua sotterranea.

In conclusione, si tratta di una zonizzazione preliminare della pericolosità di liquefazione: allo stato delle modeste conoscenze che possediamo, rispetto all'ampiezza del territorio studiato, è possibile solamente ipotizzare la distribuzione (involuppi) dei principali corpi granulari potenzialmente pericolosi, estrapolandola all'intera pianura dell'Area Bazzanese. Il successivo studio di micro zonazione dovrà comprendere la ricostruzione paleogeografica di dettaglio delle sole aree da analizzare ed un approfondimento più sistematico ed accurato potrà condurre a considerazioni diverse da quelle riportate nella tavola AB.QC.B2.04.